



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 197 10 171 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**B 25 J 11/00**

②1 Aktenzeichen: 197 10 171.2  
②2 Anmeldetag: 12. 3. 97  
④3 Offenlegungstag: 17. 9. 98

DE 197 10 171 A 1

⑦1 Anmelder:  
Hesselbach, Jürgen, Prof. Dr.-Ing., 38300  
Wolfenbüttel, DE  
  
⑦4 Vertreter:  
GRAMM, LINS & PARTNER, 38122 Braunschweig

⑦2 Erfinder:  
Hesselbach, Jürgen, Prof. Dr.-Ing., 38300  
Wolfenbüttel, DE; Plitea, Nicolae, Prof. Dr.-Ing.,  
Cluj-Napoca, RO; Kerle, Handfried, Dr.-Ing., 38108  
Braunschweig, DE; Thoben, Ralf, Dipl.-Ing., 38114  
Braunschweig, DE

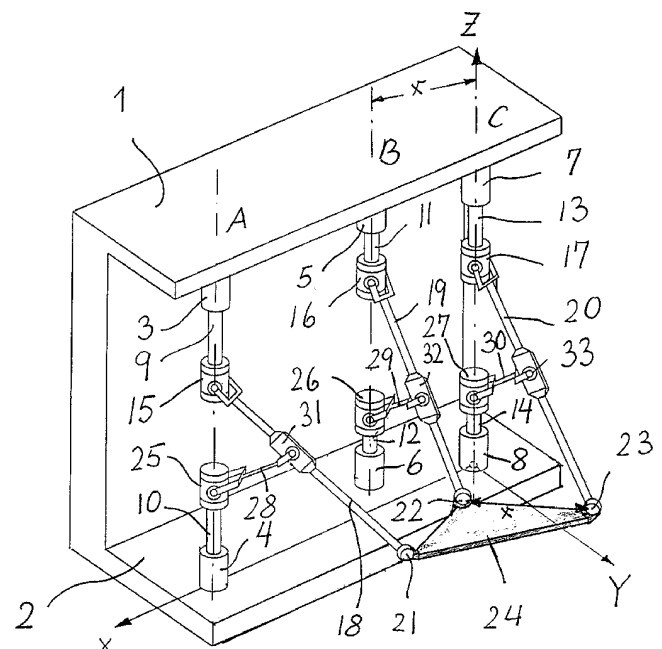
⑤6 Entgegenhaltungen:  
GB 13 72 431  
US 53 78 282 A  
  
Devaquet, G., Brauchli, H.: A simple mechanical  
model for the DELTA-Robot, In: Robotersysteme 8  
(1992), H. 4, S. 193-199;  
Neugebauer, R., Wieland, F.: Neue Werkzeug-  
maschinenstrukturen, In: ZWF 91 (1996), H. 7-8,  
S. 363-366;

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Manipulator mit Parallelstruktur

⑤7 Die Erfindung betrifft einen Manipulator mit Parallelstruktur und angetriebenen Führungselementen zum gemeinsamen (parallelen) Führen einer Arbeitsplattform (24) in einem durch die X-, Y- und Z-Achse eines rechtwinkligen Koordinatensystems definierten Raum. Um einen insbesondere als Parallel-Miniroboter für das Handhaben kleiner und kleinster Objekte geeigneten Manipulator zu schaffen, sind erfindungsgemäß sechs Linearantriebe, eine dreifach geführte Arbeitsplattform sowie drei zweifach angetriebene Führungsstäbe vorgesehen. Insbesondere für ebene Bewegungen lassen sich optional die Antriebe für eine Klasse von Bahnkurven von Punkten der Arbeitsplattform entkoppeln.



DE 197 10 171 A 1

Die Erfindung betrifft einen Manipulator mit Parallelstruktur und angetriebenen Führungselementen zum gemeinsamen (parallelen) Führen einer Arbeitsplattform in einem durch die X-, Y- und Z-Achse eines rechtwinkligen Koordinatensystems definierten Raum.

Manipulatoren mit Parallelstruktur (Parallelroboter) bauen auf geschlossenen kinematischen Ketten auf. Mehrere Gelenkarme oder Führungsketten bewegen gemeinsam (parallel) eine Arbeitsplattform gegenüber einer ruhenden Gestellplattform. Dabei ist im allgemeinen jeder Führungskette ein Antrieb als Dreh- oder Schubantrieb zugeordnet.

Zu den bekanntesten, auch auf internationalen Tagungen vorgestellten Prototypen gehört der DELTA-Roboter von Clavel (Clavel, R.: DELTA, a Fast Robot with Parallel Geometry. Proc. 18th ISIR, 1988, S. 91–100). Der DELTA-Roboter hat drei Bewegungsfreiheiten und kann somit einen Punkt seiner Arbeitsplattform innerhalb des nutzbaren Arbeitsraums in einem räumlichen X-Y-Z-Koordinatensystem positionieren. Die Orientierung der Arbeitsplattform bleibt dabei unveränderlich parallel zur Gestellplattform. Hierfür sorgen drei von drei Drehantrieben bewegte Führungsketten, die – abgesehen von einem Antriebsarm – drei räumliche Parallelkurbelgetriebe darstellen.

Aus der Fachliteratur bekanntgeworden ist ferner der HEXA-Roboter von PIERROT (Pierrot, F.; Uchiyama, M.; Dauchez, P.; Fournier, A.: A New Design of a 6-DOF Parallel Robot. J. of Robotics and Mechatronics 2 (1990) 4, S. 308–315). Der HEXA-Roboter hat sechs Bewegungsfreiheiten und kann seine Arbeitsplattform innerhalb des nutzbaren Arbeitsraums sowohl positionieren als auch orientieren hinsichtlich der Winkelstellungen um die X-, Y- und Z-Achse. In einer symmetrischen Ausführung besitzt der Roboter sechs gleichartige, von sechs Drehantrieben bewegte Führungsketten zwischen Gestellplattform und Arbeitsplattform.

Einen zusammenfassenden Überblick über Parallelroboter geben zwei Ausgaben der Zeitschrift Journal of Robotic Systems (New York (NY), USA: John Wiley & Sons, Inc., 10, 1993, 5; 12, 1995, 12).

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen einfachen Manipulator der eingangs beschriebenen Bauart zu entwickeln, der ein hochgenaues Handhaben und Führen (Positionieren und Orientieren) im Raum ermöglicht und insbesondere auch als Parallel-Minirobter besonders für das Handhaben kleiner und kleinster Objekte geeignet ist.

Ausgehend von dem eingangs beschriebenen Manipulator wird diese Aufgabe erfindungsgemäß durch folgende Merkmale gelöst:

- a) drei gestellfeste, parallel zueinander und mit Abstand voneinander angeordnete Schwenkachsen;
- b) jeder Schwenkachse ist eine um diese Schwenkachse schwenkbare Antriebsebene zugeordnet;
- c) jede dieser drei Antriebsebenen weist einen von einem ersten und einem zweiten Linearantrieb beaufschlagten Führungsstab auf, der mit seinem einen Ende über ein Kugelgelenk an der Arbeitsplattform angreift;
- d) die beiden Linearantriebe jeder Antriebsebene beaufschlagen jeweils ein aktives, auf der dieser Antriebsebene zugeordneten Schwenkachse verschiebbares Schubglied mit zwei nachgeordneten Drehgelenken mit senkrecht aufeinanderstehenden Drehachsen;
- e) das erste dieser beiden Schubglieder greift an dem von dem genannten Kugelgelenk abgewandten Ende des zugeordneten Führungsstabes an, während das zweite Schubglied über einen Stützstab an einem Dreh-

gelenk des Führungsstabes angreift;

f) das Drehgelenk jeder Antriebsebene ist auf der halben Führungsstablänge positioniert, die der Länge des Stützstabes entspricht;

g) der Abstand zwischen den beiden Schwenkachsen entspricht dem Abstand zwischen den beiden Kugelgelenken der beiden an der Arbeitsplattform angreifenden, diesen beiden Schwenkachsen zugeordneten Führungsstäbe.

Während bei allen bisher bekanntgewordenen Parallelrobotern für das Abfahren einer Geraden oder einer Bahnkurve in einer Ebene alle sechs Antriebe bewegt werden müssen, können erfindungsgemäß für Bahnkurven, die Punkte der Arbeitsplattform in den drei bevorzugten kartesischen X-Y-, X-Z- und Y-Z-Ebenen beschreiben sollen, die Antriebe entkoppelt werden, d. h. es müssen nicht alle sechs Antriebe bewegt werden. So lassen sich z. B. allgemeine ebene Bewegungen parallel zur X-Y-Ebene erzeugen, wenn die zweiten Schubglieder die gleiche konstante Z-Koordinate besitzen.

Die nicht angetriebenen (passiven) Gelenke sind Dreh-, Kardan- oder Kreuzgelenke und Kugelgelenke, die durch vollkommen spielfreie äquivalente Festkörpergelenke ersetzt werden können. Die Anzahl der Führungsstäbe ist zumindest drei. Jeder Führungsstab sowie jeder Stützstab sind gleichartig aufgebaut und lassen sich einfach und somit kostengünstig und in Leichtbauweise fertigen. Die Zugänglichkeit der Arbeitsplattform ist von fünf Seiten im Raum gegeben, nämlich von oben/unten, rechts/links und von vorn. Letzteres ist wichtig für das Zuführen von Material.

Abgesehen von der vorstehend beschriebenen Entkopplung der Antriebe ist es grundsätzlich möglich, mit den sechs Linearantrieben innerhalb des nutzbaren Arbeitsraums eine beliebige Position und Orientierung der Arbeitsplattform zu erreichen. Diese sechs Linearantriebe ermöglichen maximal sechs Bewegungen der Arbeitsplattform im Raum, nämlich drei Schiebungen und drei Drehungen bezüglich der X-, Y- und Z-Achse eines rechtwinkligen Koordinatensystems (Freiheitsgrad  $F=6$ ). Optional lassen sich – wie vorstehend erläutert wurde – die Antriebe für eine Klasse von Bahnkurven von Punkten der Arbeitsplattform entkoppeln (Freiheitsgrad  $F<6$ ).

Die dreifach geführte Arbeitsplattform eignet sich insbesondere zum Handhaben kleiner und kleinster Objekte.

Die Positionierung der ersten Schwenkachse gegenüber den anderen beiden Schwenkachsen ist grundsätzlich veränderbar.

Um eine hohe Dynamik zu gewährleisten, ist es zweckmäßig, wenn die Führung der Arbeitsplattform gegenüber einer ruhenden oberen und unteren Plattform erfolgt, wobei die ersten Linearantriebe jeder Antriebsebene an der oberen Plattform und die zweiten Linearantriebe an der unteren Plattform montiert sind.

Zur Erzielung einer hohen Struktursteifigkeit ist es vorteilhaft, wenn die beiden Schubglieder jeder Antriebsebene auf einer gemeinsamen ortsfesten, in der zugeordneten Schwenkachse liegenden Führungsstange geführt sind. Hierbei ist es ferner zweckmäßig, wenn die drei Führungsstangen die obere und die untere Plattform starr miteinander verbinden und die von der Arbeitsplattform abgewandte Rückseite des Manipulators bilden.

Weitere Merkmale der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche und werden in Verbindung mit weiteren Vorteilen der Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert.

In der Zeichnung sind zwei als Beispiele dienende Ausführungsformen der Erfindung dargestellt. Es zeigen:

**Fig. 1** in perspektivischer Ansicht einen Parallelroboter mit drei baugleichen Antriebsebenen;

**Fig. 2** in Seitenansicht und in gegenüber **Fig. 1** vergrößertem Maßstab die erste der drei Antriebsebenen und

**Fig. 3** eine abgewandelte Ausführungsform in einer Darstellung gemäß **Fig. 2**.

Der in **Fig. 1** dargestellte Parallelroboter weist ein Gestell auf, das sich aus einer oberen Plattform **1** und einer unteren Plattform **2** zusammensetzt, die auf ihrer Rückseite in beliebiger Weise miteinander verbunden sind. In diesem Gestell **1, 2** sind sechs Linearantriebe **3, 4, 5, 6, 7, 8** angeordnet, von denen jeweils zwei Linearantriebe **3, 4** bzw. **5, 6** bzw. **7, 8** auf einer gestellfesten Achse A bzw. B bzw. C angeordnet sind. Letztere sind senkrecht zu den Plattformen **1, 2** ausgerichtet und liegen parallel zueinander. Die Achse A bildet somit die Bewegungsachse für die beiden Linearantriebe **3, 4**, die Achse B bildet die Bewegungsachse für die Linearantriebe **5, 6** und die Achse C bildet die Bewegungsachse für die Linearantriebe **7, 8**. Die Linearantriebe **3** bis **8** können Pneumatik- oder Hydraulikzylinder, Servomotore mit drehender Abtriebswelle und nachgeordneten Kugelgewindespindeln, Servo-Lineararmotoren oder Piezo-Linearaktoren sein.

Jeder der Linearantriebe **3** bis **8** bewegt einen ihm zugeordneten Linearführungsstab **9** bis **14** auf der zugeordneten Achse A, B bzw. C.

Die drei oberen Linearführungsstäbe **9, 11, 13** sind jeweils über zwei nachgeordnete Drehgelenke **15, 16, 17** mit senkrecht aufeinanderstehenden Drehachsen mit dem einen Ende eines Führungsstabes **18, 19, 20** verbunden, die mit ihrem jeweils anderen Ende über je ein Kugelgelenk **21, 22, 23** (drei Drehfreiheiten) eine Arbeitsplattform **24** tragen. Die Gelenkkombinationen **9/15, 11/16, 13/17** können als Drehschubgelenk mit einer zusätzlichen, senkrecht zur Drehschubachse angeordneten Drehachse, als reines Schubgelenk mit einem zusätzlichen Kugelgelenk oder aber – wie dargestellt – als reines Schubgelenk mit einem zusätzlichen Kreuzgelenk ausgebildet sein.

Die drei unteren Linearführungsstäbe **10, 12, 14** sind jeweils über eine den oberen Gelenkkombinationen entsprechende Gelenkkombination **10/25, 12/26, 14/27** über jeweils einen Stützstab **28, 29, 30** an demjenigen Führungsstab **18, 19, 20** angelenkt, der mit dem jeweils axial fluchtenden oberen Linearführungsstab **9, 11, 13** in Verbindung steht. Die Anlenkung jedes Stützstabes **28, 29, 30** an dem ihm zugeordneten Führungsstab **18, 19, 20** erfolgt über ein Drehgelenk **31, 32, 33** (mit einer Drehfreiheit), dessen Gelenkachse die Längsmittellinie des zugeordneten Führungsstabes **18, 19, 20** senkrecht schneidet und zwar genau auf der halben Länge des Führungsstabes. Die Länge **1** jedes Stützstabes **28, 29, 30** entspricht der halben Länge des zugeordneten Führungsstabes **18, 19, 20**, wie die **Fig. 2** und **3** deutlich machen.

Der Abstand  $x$  zwischen den beiden gestellfesten Achsen B und C entspricht genau dem Abstand zwischen den beiden Kugelgelenken **22, 23**, über die die beiden Führungsstäbe **19, 20** an der Arbeitsplattform **24** angreifen. Letztere dient als Werkzeug- oder Werkstückhalter.

Insgesamt bildet diese Konstruktion ein räumliches Führungsgetriebe auf der Basis geschlossener kinematischer Ketten mit sechs Freiheiten. Die Konstruktion umfaßt drei baugleiche Antriebsebenen, die jeweils ein gleichschenkliges Dreieck mit den Dreieckspunkten **15, 25, 31** bzw. **16, 26, 32** bzw. **17, 27, 33** bilden.

Die Linearführungsstäbe **9** bis **14**, die Führungsstäbe **18, 19, 20** sowie die Stützstäbe **28, 29, 30** können jeweils aus Stangenmaterial mit Kreisquerschnitt bestehen. Um die Drehung der Antriebsebenen **15/25/31, 16/26/32** und

**17/27/33** um die ihnen zugeordneten gestellfesten Achsen A, B, C zu ermöglichen, sind die Enden der Linearführungsstäbe **9** bis **14** an diesen Anschlußstellen mit geeigneten Lagerelementen versehen.

**Fig. 2** zeigt die erste der drei baugleichen Antriebsebenen der Ausführungsform gemäß **Fig. 1**. Aus getriebetechnischer Sicht handelt es sich bei dieser Antriebsebene um ein ebenes fünfgliedriges Getriebe mit zwei Linearantrieben in Form aktiver Schubgelenke und drei passiven Drehgelenken. Dabei sind die in **Fig. 2** mit der Länge **1** gekennzeichneten Glieder in allen drei Antriebsebenen gleich lang. Die drei Dreiecke, die jeweils um eine der Achsen A, B, C verschwenken, bleiben während der Bewegung des Roboters aufrechterhalten.

**Fig. 3** zeigt eine gegenüber **Fig. 2** abgewandelte Ausführungsform. Hier liegt in der Achse A eine zwischen der oberen Plattform **1** und der unteren Plattform **2** fest montierte Führungsstange **34**, auf der die Schubglieder mit den Kreuzgelenken **15, 25** durch den ihnen zugeordneten Linearantrieb **3** bzw. **4** und den zwischengeschalteten Linearführungsstab **9** bzw. **10** verschoben werden können. Die Linearführungsstäbe **9, 10** liegen in diesem Fall also parallel zur Achse A bzw. zu der Führungsstange **34**. Die beiden anderen Antriebsebenen sind analog ausgebildet, so daß der so ausgebildete Parallelroboter in seinen Achsen A, B und C jeweils eine starre Führungsstange **34** aufweist.

Die dargestellten Ausführungsbeispiele zeigen, daß alle sechs Linearantriebe **3** bis **8** in der Gestellplattform gelagert sind, also bei den Arbeitsbewegungen des Parallelroboters nicht mitbewegt werden. Dadurch sind eine hohe Dynamik und durch die Isolierung der Antriebe vom Arbeitsraum auch eine hohe Reinraumtauglichkeit gewährleistet. Das Parallelprinzip führt zu einer hohen Struktursteifigkeit, die bei einer Ausführungsform gemäß **Fig. 3** durch die Anordnung der drei starren Führungsstangen **34** noch erhöht wird.

Die Drehgelenke **31, 32, 33** bilden die Mittelpunkte der drei gleich langen Führungsstäbe **18, 19, 20** und befinden sich somit auch stets in der Z-Mitte der zugeordneten Gelenke **15/25, 16/26** und **17/27** auf den zueinander parallelen Achsen A, B und C. Die Führungsstäbe **19, 20** bilden Teile eines räumlichen Parallelkurbelgetriebes, bleiben also parallel zueinander, da der Abstand  $x$  zwischen den Achsen B und C dem Abstand zwischen den Kugelgelenken **22** und **23** auf der Arbeitsplattform **24** entspricht. Da auch die Stützstäbe **28, 29, 30** gleich lang und halb so lang sind wie die Führungsstäbe **18, 19, 20**, können für Bahnkurven, die Punkte der Arbeitsplattform **24** in den drei bevorzugten kartesischen X-Y-, X-Z- und Y-Z-Ebenen beschreiben sollen, die Linearantriebe **3** bis **8** entkoppelt werden; es müssen also nicht alle sechs Linearantriebe bewegt werden. So lassen sich z. B. allgemeine ebene Bewegungen parallel zur X-Y-Ebene erzeugen, wenn die Gelenke **25, 26, 27** die gleiche konstante Z-Koordinate besitzen.

#### Patentansprüche

1. Manipulator mit Parallelstruktur und angetriebenen Führungselementen zum gemeinsamen (parallelen) Führen einer Arbeitsplattform (**24**) in einem durch die X-, Y- und Z-Achse eines rechtwinkligen Koordinatensystems definierten Raum, **gekennzeichnet durch** folgende Merkmale:

- a) drei gestellfeste, parallel zueinander und mit Abstand voneinander angeordnete Schwenkachsen (A, B, C);
- b) jeder Schwenkachse (A, B, C) ist eine um diese Schwenkachse schwenkbare Antriebsebene (A/**18, 28**; B/**19, 29**; C/**20, 30**) zugeordnet;

c) jede dieser drei Antriebsebenen (A/18, 28; B/19, 29; C/20, 30) weist einen von einem ersten und einem zweiten Linearantrieb (3, 4; 5, 6; 7, 8) beaufschlagten Führungsstab (18; 19; 20) auf, der mit seinem einen Ende über ein Kugelgelenk (21; 22; 23) an der Arbeitsplattform (24) angreift; 5

d) die beiden Linearantriebe (3, 4; 5, 6; 7, 8) jeder Antriebsebene (A/18, 28; B/19, 29; C/20, 30) beaufschlagen jeweils ein aktives, auf der dieser Antriebsebene zugeordneten Schwenkachse (A, B, C) verschiebbares Schubglied (9, 10; 11, 12; 13, 14) mit zwei nachgeordneten Drehgelenken (15, 25; 16, 26; 17, 27) mit senkrecht aufeinanderstehenden Drehachsen; 10

e) das erste dieser beiden Schubglieder (15; 16; 17) greift an dem von dem genannten Kugelgelenk (21; 22; 23) abgewandten Ende des zugeordneten Führungsstabes (18; 19; 20) an, während das zweite Schubglied (25; 26; 27) über einen Stützstab (28; 29; 30) an einem Drehgelenk (31; 32; 33) des Führungsstabes (18; 19; 20) angreift; 15

f) das Drehgelenk (31; 32; 33) jeder Antriebsebene (A/18, 28; B/19, 29; C/20, 30) ist auf der halben Führungsstablänge (1) positioniert, die der Länge (1) des Stützstabes (28, 29, 30) entspricht; 20

g) der Abstand (x) zwischen den beiden Schwenkachsen (B, C) entspricht dem Abstand (x) zwischen den beiden Kugelgelenken (22, 23) der beiden an der Arbeitsplattform (24) angreifenden, diesen beiden Schwenkachsen (B, C) zugeordneten Führungsstäbe (19, 20). 25 30

2. Manipulator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die dem Schubglied (9, 10; 11, 12; 13, 14) nachgeordneten Drehgelenke (15, 25; 16, 26; 17, 27) Kardan- oder Kreuzgelenke sind. 35

3. Manipulator nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Drehachsen der Drehgelenke (31, 32, 33) der Führungsstäbe (18, 19, 20) die Längsmittellinie des zugeordneten Führungsstabes (18, 19, 20) senkrecht schneiden. 40

4. Manipulator nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Führung der Arbeitsplattform (24) gegenüber einer ruhenden oberen und unteren Plattform (1, 2) erfolgt, wobei die ersten Linearantriebe (3, 5, 7) jeder Antriebsebene (A/18, 28; B/19, 29; C/20, 30) an der oberen Plattform (1) und die zweiten Linearantriebe (4, 6, 8) an der unteren Plattform (2) montiert sind. 45

5. Manipulator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Schubglieder (15, 25; 16, 26; 17, 27) jeder Antriebsebene (A/18, 28; B/19, 29; C/20, 30) auf einer gemeinsamen ortsfesten, in der zugeordneten Schwenkachse (A, B, C) liegenden Führungsstange (34) geführt sind. 50

6. Manipulator nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die drei Führungsstangen (34) die obere und die untere Plattform (1, 2) starr miteinander verbinden und die von der Arbeitsplattform (24) abgewandte Rückseite des Manipulators bilden. 55

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

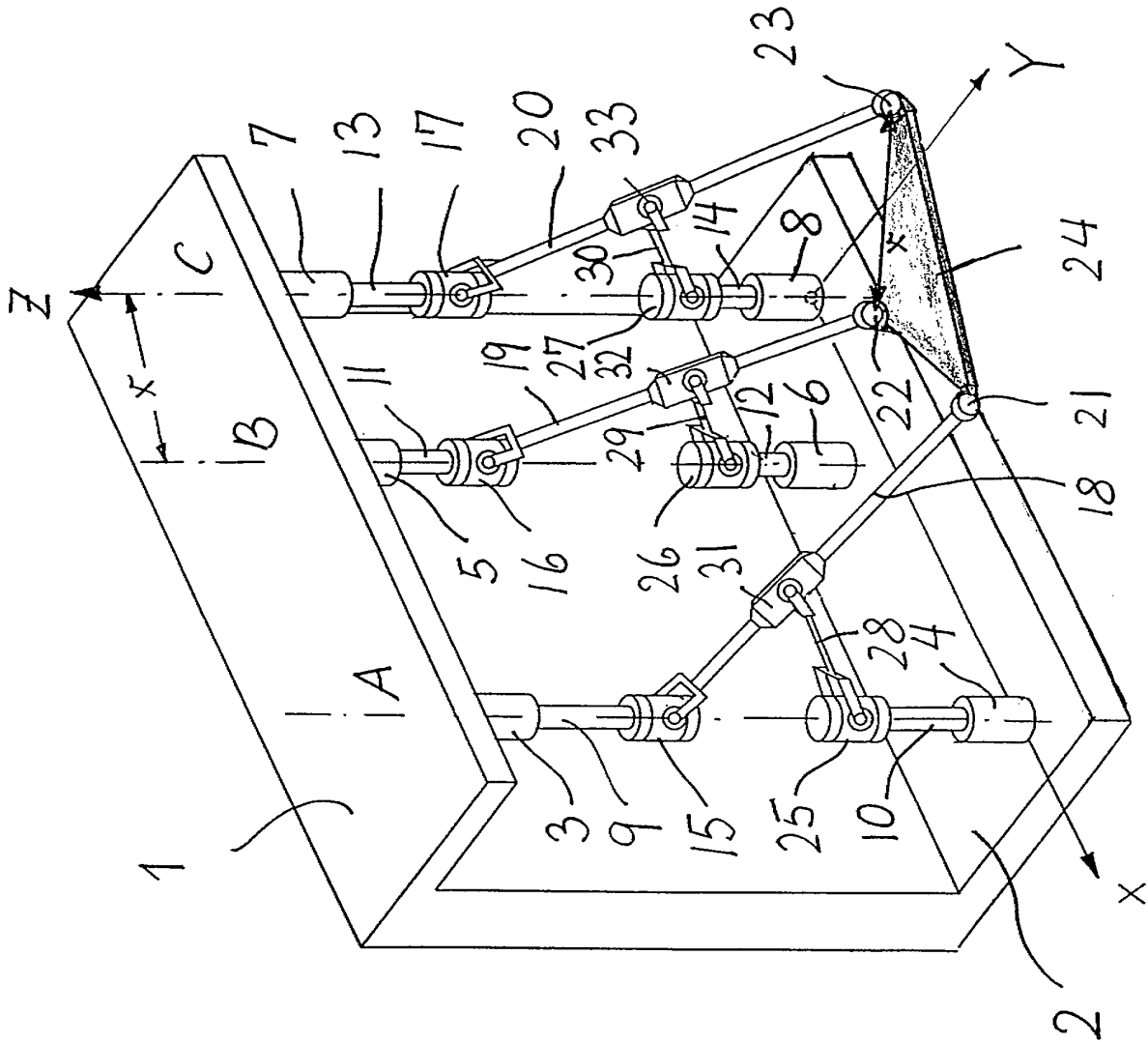
---

60

65

- Leerseite -

Fig. 1



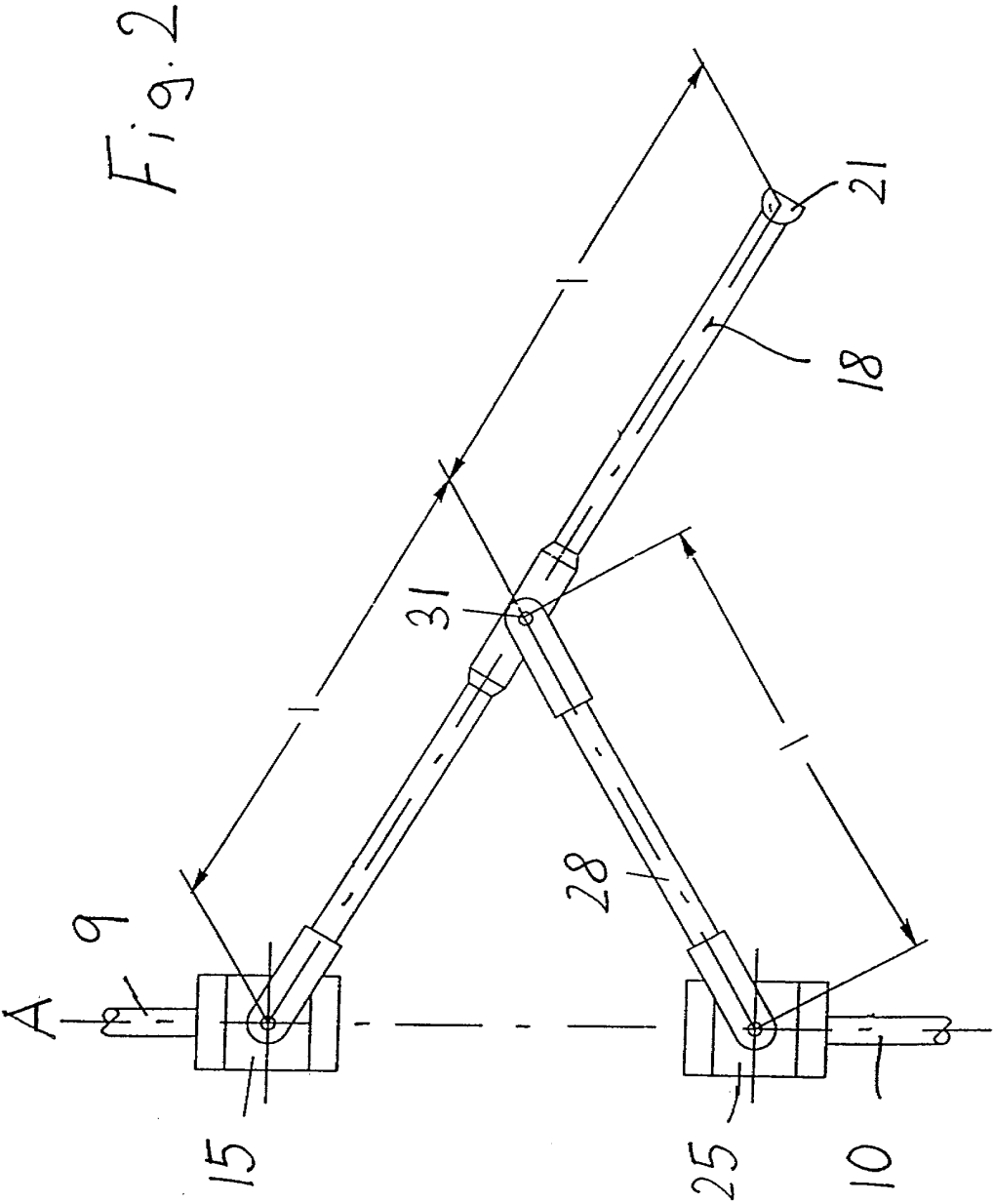
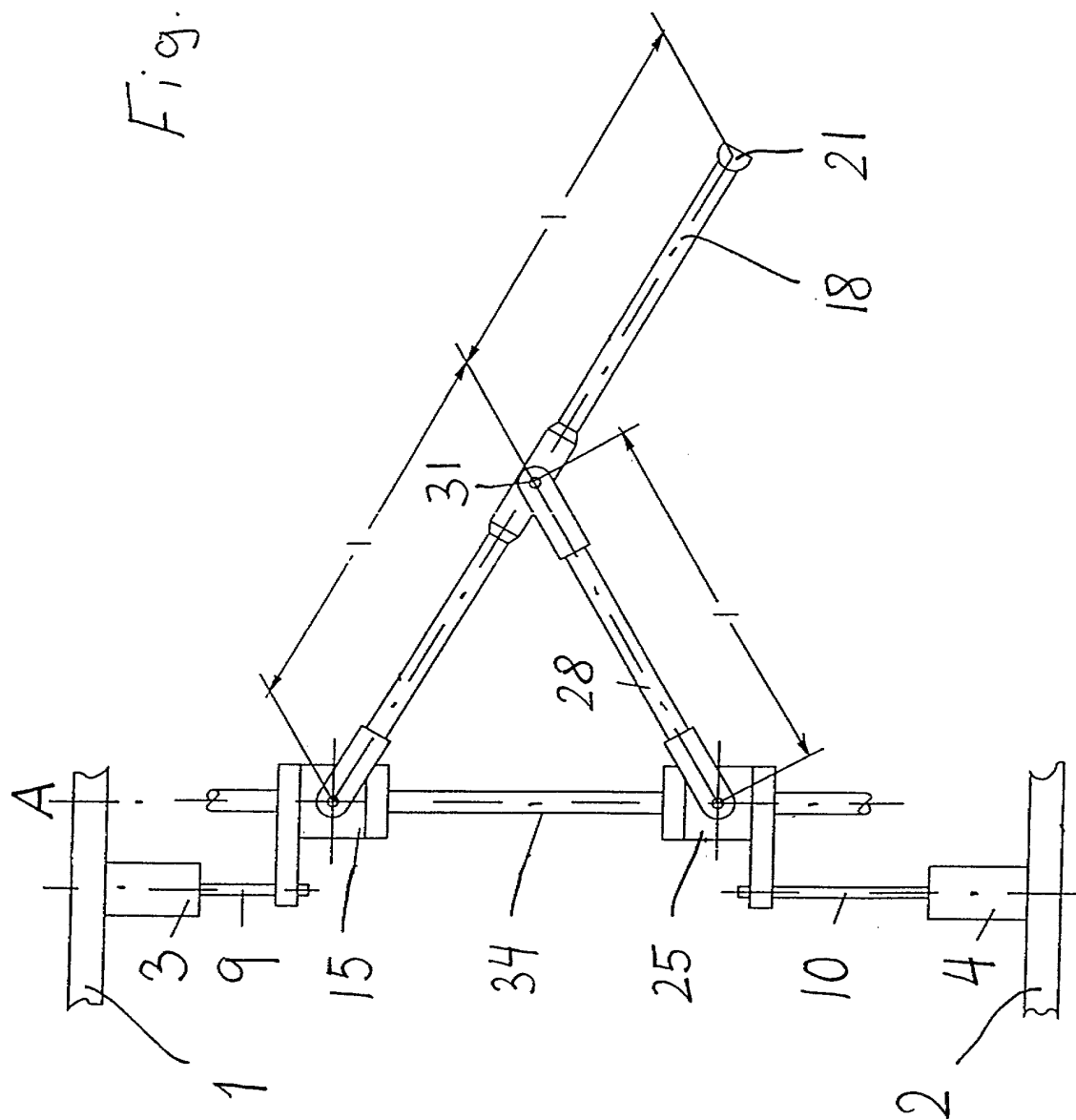


Fig. 3





**PUB-NO:** DE019710171A1  
**DOCUMENT-IDENTIFIER:** DE 19710171 A1  
**TITLE:** Manipulator for parallel structure and driven guide elements  
**PUBN-DATE:** September 17, 1998

**INVENTOR-INFORMATION:**

NAME	COUNTRY
HESELBACH, JUERGEN PROF DR ING	DE
PLITEA, NICOLAE PROF DR ING	RO
KERLE, HANDFRIED DR ING	DE
THOBEN, RALF DIPL ING	DE

**ASSIGNEE-INFORMATION:**

NAME	COUNTRY
HESELBACH JUERGEN PROF DR ING	DE

**APPL-NO:** DE19710171  
**APPL-DATE:** March 12, 1997

**PRIORITY-DATA:** DE19710171A (March 12, 1997)

**INT-CL (IPC):** B25J011/00

**EUR-CL (EPC):** B25J017/02

**ABSTRACT:**

CHG DATE=19990905 STATUS=O>The manipulator has three frame-fixed relatively parallel and spaced apart pivot axes(A,B,C), each of which has a guide rod(18-20) operated by a first and second linear actuator(3-8) and which by one end engages with the working platform(24) by means of a ball joint(21-23). The two linear actuators of each guide rod act upon a thrust component(9-14) with two rotational joints with vertically disposed pivot axes.